

УДК 550.832

## ПОДІЛ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НА ГРУПИ ЗА ДАНИМИ КОМПЛЕКСУ ПЕТРОФІЗИЧНИХ І ГЕОФІЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

О.А. Гаранін

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727123,  
e-mail: geophys@nuing.edu.ua

Розглянуто результати аналізу та узагальнення даних експериментальних досліджень петрофізичних та геофізичних параметрів на керні відібраного з продуктивних візейських відкладів Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища Дніпровсько-Донецької западини. Встановлено, що спостереження за поведінкою електричних параметрів зразків порід-колекторів у мінливих термобаричних умовах у комплексі з невеликою кількістю петрофізичних характеристик цих порід, дозволяють розділити їх на групи, які відрізняються за адсорбційними, фільтраційно-ємнісними та геофізичними параметрами, що реєструють при геофізичних дослідженнях свердловин.

За результатами експериментальних досліджень доведено, що особливо чутливими електричними параметрами порід-колекторів до мінливих термобаричних умов є відносний електричний опір (параметр пористості) та коефіцієнт збільшення електричного опору (параметр насичення). В статті показано, що пласти-колектори другої виділеної групи є складно побудованими та характеризуються мінливими геофізичними параметрами, що не дозволяє однозначно виділяти їх серед вміщуючих гірських порід за даними геофізичних методів дослідження свердловин.

Ключові слова: класифікація порід-колекторів, відносний електричний опір, параметр насичення, петрофізичні параметри, термобаричні умови.

Рассмотрены результаты анализа и обобщения данных экспериментальных исследований петрофизических и геофизических параметров на керне, отобранном из продуктивных визейских отложений Перекопского нефтегазоконденсатного месторождения Днепровско-Донецкой впадины. Установлено, что наблюдения за поведением электрических параметров образцов пород-коллекторов в меняющихся термобарических условиях в комплексе с небольшим количеством петрофизических характеристик этих пород, позволяют разделить их на группы, которые отличаются адсорбционными, фильтрационно-ёмкостными и геофизическими параметрами, регистрируемыми при геофизических исследованиях скважин.

Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее чувствительными электрическими параметрами пород-коллекторов к изменяющимся термобарическим условиям являются относительное электрическое сопротивление (параметр пористости) и коэффициент увеличения электрического сопротивления (параметр насыщения). В статье показано, что пласты-коллекторы второй выделенной группы – сложно построенные, характеризующиеся изменчивыми геофизическими параметрами и это не позволяет однозначно выделять их среди вмещающих горных пород по данным геофизических методов исследования скважин.

Ключевые слова: классификация пород-коллекторов, относительное электрическое сопротивление, параметр насыщения, петрофизические параметры, термобарические условия.

The results of analysis and compilation of experimental research data of petrophysical and geophysical parameters of the core, retained from the productive Visean deposits of Perekopivske oil-and-gas condensate field of the Dnieper-Donetsk Depression, were examined. It was established that observation of the electrical parameters behavior of the reservoir rock samples under variable thermobaric conditions in combination with few petrophysical characteristics of these rocks allow to divide them into groups, which differ in accordance with their adsorption, filtration-capacitive and geophysical parameters that are recorded during geophysical well logging.

The results of the experimental research showed that electrical parameters of the reservoir rocks, which are very sensitive to variable thermobaric conditions, include relative electric resistance (porosity parameter) and electric resistance increase factor (saturation parameter). This article shows that the reservoir layers of the second group are characterized by a complicated structure and variable geophysical parameters, which makes it impossible to definitely distinguish them among the bearing rocks on the basis of the geophysical well logging data.

Key words: classification of reservoir rocks, relative electric resistance, saturation parameter, petrophysical parameters, thermobaric conditions.

В теперешній час підвищилась увага надкористувачів до комплексних експериментальних петрофізичних і геофізичних досліджень та побудови моделей нафтогазових пластів. Це пов'язано з спробою ефективно упорядкувати питання розвідки та розробки родовищ вуглеводнів у нових умовах у зв'язку з розвитком комп'ютерних технологій моделювання нафтогазових родовищ, що у свою чергу привело до жорстких вимог визначення петрофізичних характеристик і геофізичних параметрів, прита-

маних певним групам порід-колекторів. Над проблемою поділу порід-колекторів на групи (класифікації) у свій час працювало багато дослідників (Н. М. Свіхнушин, А. А. Ханін, О. А. Черніков, А. Н. Куренков, І. Е. Ейдман та ін.) [1, 2, 3, 4 і ін.]. Підхід науковців до вирішення цієї проблеми різний, хоча залишається загальна позиція - залучення до поділу гірських порід на групи (класи) все більшого числа їх петрофізичних характеристик і геофізичних параметрів. Найбільш доступний підхід, що

Таблиця 1 – Поділ порід-колекторів візейських відкладів Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища на групи за комплексом петрофізичних і геофізичних параметрів

Виділена група порід-колекторів	Параметри порід-колекторів								
	$K_{в.ад}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P$	$\Delta I\gamma$	$\alpha_{сп}$	$K_{п.в}$ , %	$K_{пр.эф}$ , $\times 10^{-15}$ , м <sup>2</sup>	$K_{в.з}$ , %	$\Delta T$ , мкс/м	$Reф$ , $\times 10^{-6}$ , м
Перша група	1,9-5,6 4,7	26-105 48	0-0,04 0,03	1	12-19 15,6	10-200 115	8-14 10,7	224-243 230	2,8-9,7 6,4
Друга група	2,6-14,5 8,6	49-314 166	0-0,2 0,1	0,5-1 0,8	7-14 9,9	0,01-39 4,1	15-67 33	191-228 207	0,5-5,8 4,2

**Примітки:**

1. Позначення у таблиці:  $K_{в.ад}$  – коефіцієнт адсорбційного водонасичення;  $P$  – відносний електричний опір;  $\Delta I\gamma$  – подвійний різницеви параметр радіоактивності;  $\alpha_{сп}$  – відносна амплітуда самочинної поляризації;  $K_{п.в}$  – коефіцієнт відкритої пористості;  $K_{пр.эф}$  – коефіцієнт ефективної проникності;  $K_{в.з}$  – коефіцієнт залишкового водонасичення;  $\Delta T$  – інтервальний час поширення пружних поздовжніх хвиль;  $Reф$  – ефективний радіус порових каналів.

2. Чисельник – межі зміни величин.

3. Знаменник – середні значення величин.

становить основу майже всіх розроблених класифікацій порід-колекторів, описаний А. А. Ханіним [2]. Він запропонував класифікувати породи-колектори за величиною їх проникності й пористості. Незважаючи на те, що ця методика прийнята багатьма лабораторіями та виробничими організаціями, вона недосконала, тому що поділ порід-колекторів лише за фільтраційно-ємнісними властивостями обмежує застосування її при вивченні колекторів новими геолого-геофізичними методами. Деякі дослідники [1, 3, 4] вважають за необхідне при класифікації колекторів враховувати комплекс петрофізичних, літологічних і експлуатаційних характеристик пластів, а також характер петрофізичних зв'язків.

Таким чином, у зв'язку з вищевикладеним поділ порід-колекторів на групи можна здійснювати різними методами залежно від кінцевої мети досліджень. При цьому необхідно враховувати доступність методів, їх інформативність і роздільну здатність.

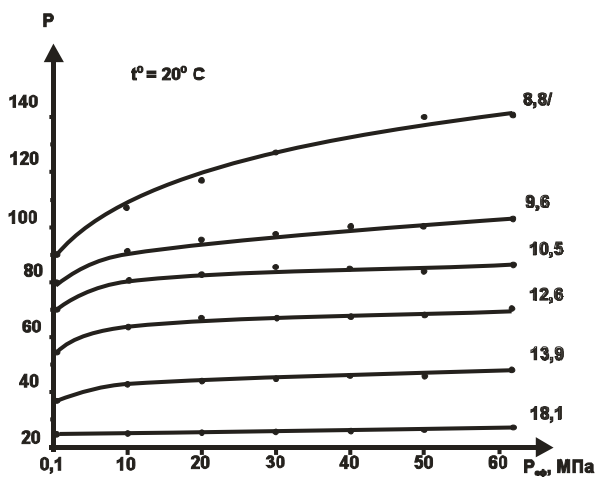
При дослідженні нами процесів, що відбуваються у присвердловинній зоні пластів колекторів та оцінці впливу свердловини на їх фільтраційно-ємнісні властивості, перед нами також виникло завдання з поділу порід-колекторів візейських відкладів Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на окремі групи. Для вирішення цієї задачі ми дослідили та враховували наступні петрофізичні параметри досліджуваних порід: характер зміни електричних геофізичних параметрів при мінливих термобаричних умовах, проникність, пористість, радіус порових каналів, залишкову водонасиченість і адсорбційну здатність. Аналіз отриманих результатів та даних геофізичних досліджень свердловин показав, що за комплексом петрофізичних і геофізичних параметрів досліджувані породи-колектори можна умовно поділити на дві характерні групи (табл. 1).

За результатами проведених нами вимірювань електричних параметрів зразків керну в

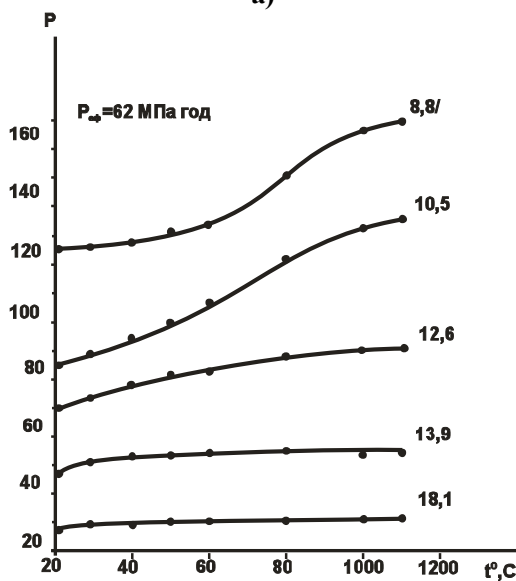
мінливих термобаричних умовах із застосуванням розробленого пристрою [5] було встановлено, що із збільшенням ефективного тиску  $P_{эф}$  при постійній температурі відносний електричний опір  $P$  досліджуваних зразків порід-колекторів зростає, причому найбільше інтенсивно зростає параметр  $P$  при збільшенні значень ефективного тиску до 30-40 МПа (рис. 1, а). Більш значні зміни параметра  $P$  спостерігаються в низькопористих колекторах з підвищеним вмістом глинистого матеріалу у цементі породи. Отримані результати підтверджують висновки Ю. С. Губанова та В. Ф. Індутного [6, 7] про вплив ефективного тиску на величину відносного опору пісковиків кам'яновугільних відкладів ДДЗ. Величини відношення  $P/P_1$  (де  $P$  – відносний опір при ефективному тиску, що змінюється,  $P_1$  – відносний опір при ефективному тиску рівному 0,1 МПа), відповідно для високопористих колекторів ( $K_{п.в} = 12-19\%$ ) і низькопористих ( $K_{п.в} = 7-14\%$ ) змінюються від 1,08 до 1,7 (рис. 2).

З ростом температури при постійному ефективному тиску спостерігається також і ріст відносного опору  $P$  (рис. 1, б). Причому, при температурі 50-70°C у зразків пісковиків із пористістю менш 10% відзначається більш різке збільшення крутості графіка залежності відносного опору від температури.

Відмінною рисою порід-колекторів першої виділеної групи є незначне збільшення величини відносного опору  $P$  при підвищенні температури від 20° до 110°C (див. рис. 1, б). Максимальне збільшення величини  $P$  досягає 20 %. Породи-колектори цієї групи відрізняються високим вмістом піщаної фракції, низьким вмістом глинистої фракції, високими значеннями пористості (12-19 %) і проникності  $(10-200) \times 10^{-15}$  м<sup>2</sup>. Цемент у них кварцовий, каоліновий з домішками карбонатів і незначної кількості гідролуд. Відповідно до класифікації А. А. Ханіна [2], зазначені колектори можна віднести до III класу порід-колекторів.



а)

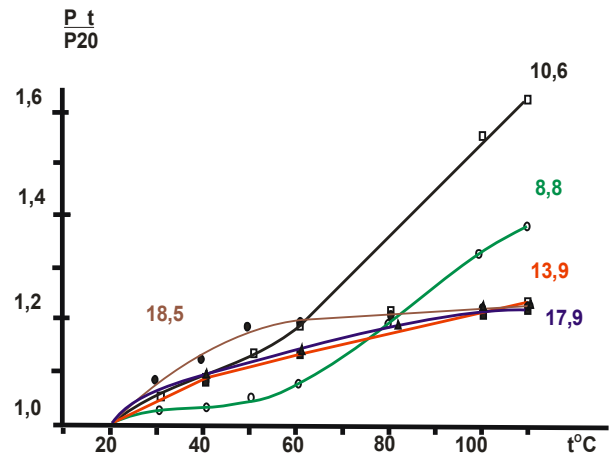


б)

Шифр кривих - значення відкритої пористості  $K_{П.В}, \%$

**Рисунок 1 – Характер зміни відносного електричного опору (параметра пористості)  $P$  пісковиків нижнього карбону Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища залежно від ефективного тиску  $P_{эф}$  (а) та від температури  $t^{\circ}C$  (б)**

Для порід-колекторів другої групи величина  $P$  після порівняно плавного, незначного збільшення в діапазоні температур 20-50°C різко збільшує градієнт росту при подальшому підвищенні температури, і при температурі 110°C збільшується на 40-50 %. Від порід першої групи остання відрізняється величиною пористості, проникності, глинистості, які відповідно варіюють у межах 7-14 %,  $(0,01-39) \times 10^{-15} \text{ м}^2$ , 8-18 %. За класифікацією А. А. Ханіна ці породи-колектори можна віднести до IV-V класів. Величина й характер зміни відносного опору порід другої групи при мінливості термобаричних умов, очевидно більшою мірою залежить від нерівномірного розширення породоутворюючих мінералів, що значно ускладнює структуру їх порових електропровідних каналів.



Шифр кривих – значення відкритої пористості  $K_{П.В}, \%$ .

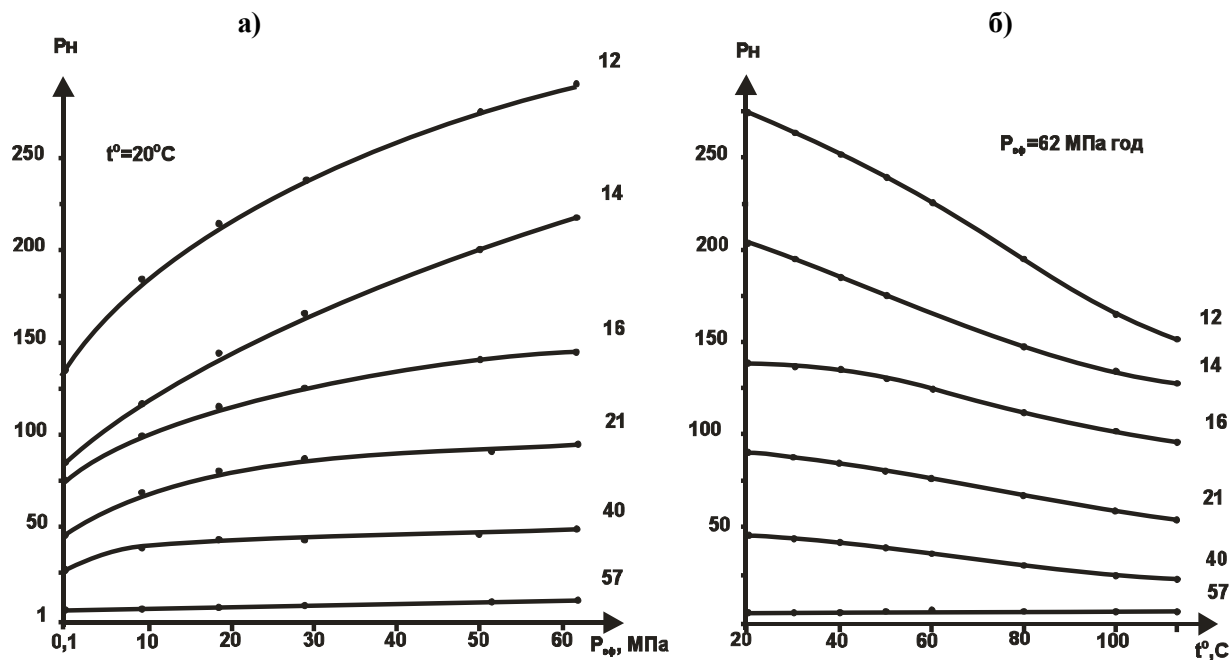
**Рисунок 2 – Відносна зміна параметра пористості  $P$  залежно від температури при постійному ефективному тиску 62 МПа для пісковиків нижнього карбону Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища**

Вплив ефективного тиску на коефіцієнт збільшення опору  $P_H$  аналогічний впливу  $P_{эф}$  на відносний опір  $P$  (рис. 3, а), але при цьому спостерігається збільшення градієнта зміни параметра  $P_H$  у зразках пісковиків з низькою залишковою водонасиченістю і високою пористістю. При залишковій водонасиченості 12-14% і ефективному тиску, що відповідає глибині залягання досліджуваних порід ( $P_{эф} = 62 \text{ МПа}$ ) величина  $P_H$  при незмінній температурі може вирости у два й більше рази.

При фіксованих значеннях водонасичення зразків гірських порід і ефективного тиску характер зміни коефіцієнту збільшення електричного опору  $P_H$  із ростом температури протилежно зміні параметра  $P$ , тобто з ростом температури значення  $P_H$  зменшуються, причому, більш значно у зразків порід з низькою залишковою водонасиченістю (див. рис. 3, б та рис. 4).

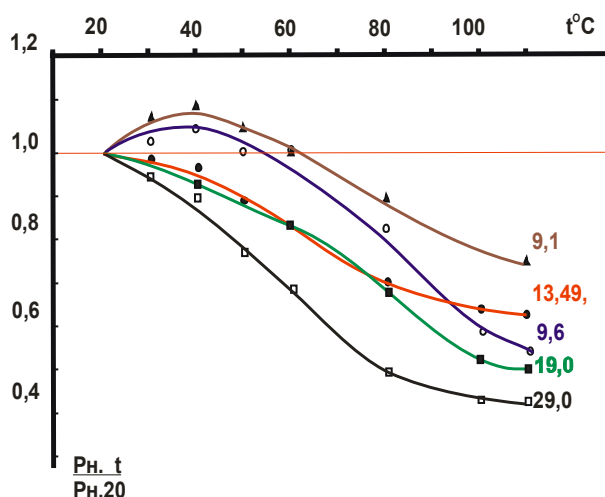
Про характер зміни величин  $P$  і  $P_H$  при одночасній дії на зразки порід зростаючого ефективного тиску до 62 МПа й температури до 110°C можна судити за даними відносних змін цих параметрів (табл. 2). Наведені у таблиці дані показують, що величина  $P$  закономірно зростає при підвищенні ефективного тиску й температури. Причому, найбільш інтенсивна зміна значень  $P$  спостерігається у низькопористих пісковиків, тобто в другій групі виділених порід-колекторів.

Отримані результати досліджень свідчать, що на глибині залягання порід 4000-5000 м пластові умови значно позначаються на залежностях  $P = f(K_H)$  і  $P_H = f(K_B)$ , що застосовують при інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Згідно табл. 2 у відповідні кореляційні зв'язки, встановлені при ефективних тисках, але при кімнатній температурі, варто, обов'язково вводити виправлення за температуру. При інтерпретації матеріалів ГДС з використанням петрофізичних зв'язків, що



Шифр кривих – значення залишкового водонасичення  $K_{B.3}$ , %

Рисунок 3 – Характер зміни коефіцієнта збільшення опору (параметра насичення)  $P_H$  піско-виків нижнього карбону Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища залежно від ефективного тиску  $P_{ef}$  (а) та від температури  $t^\circ C$  (б)



Шифр кривих – значення залишкового водонасичення  $K_{B.3}$ , %.

Рисунок 4 – Відносна зміна параметра насичення  $P_H$  при постійному ефективному тиску 62 МПа залежно від температури для піско-виків нижнього карбону Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища

враховують не тільки вплив тиску, але й температури отримують значення коефіцієнтів пористості пластів-колекторів на 1-1,5% абсолютних вище, а водонасиченість пластів-колекторів – на 3-4 % абсолютних нижче. Отже, обґрунтовано зменшується ймовірність пропуску продуктивних пластів і підвищується достовірність визначення вихідних параметрів, які використовують при підрахунку запасів нафтогазових родовищ.

## Висновки

Використовуючи результати дослідження мінливості електричних параметрів зразків порід-колекторів візейських відкладів Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища у термобаричних умовах, що змінюються, у комплексі з іншими петрофізичними і геофізичними параметрами цих порід науково обґрунтовано поділ їх на групи, які відрізняються за фільтраційно-ємнісними властивостями.

Отримані результати досліджень показують, що пласти-колектори другої виділеної нами групи (IV – V клас за А. А. Ханіним) характеризуються мінливими геофізичними параметрами, які не дозволяють однозначно виділяти їх за даними ГДС серед вміщуючих гірських порід.

Встановлено, що при значній глибині залягання продуктивних відкладів (понад 2000 м) пластові умови значно впливають на петрофізичні кореляційні зв'язки, які використовують при визначенні підрахункових параметрів нафтогазових родовищ за даними ГДС.

## Література

- 1 Свихнушин Н. М. Использование петрофизических связей при классификации поровых коллекторов нефти и газа / Н. М. Свихнушин // Тр. МИНХ и ГП. – М.: Недра, 1975. – Вып. 115. – С. 213-232.
- 2 Ханин А. А. Породы-колекторы нефти и газа и их изучение / А. А. Ханин. – М.: Недра, 1969. – 365 с.
- 3 Черников О. А. Классификация песчано-алевритовых коллекторов по совокупности их

**Таблиця 2 – Результати дослідження зміни електричних параметрів  $P$  і  $P_H$  залежно від температури і ефективного тиску для порід-колекторів візейських відкладів Перекопівського нафтогазоконденсатного родовища**

Тиск, МПа	Температура, С°							
	110	100	80	60	50	40	30	20
<b>Перша група порід-колекторів (III клас за А. А. Ханіним)</b>								
62	1	<u>1,0</u> 0,98	<u>0,97</u> 1,17	<u>0,94</u> 1,34	<u>0,94</u> 1,35	<u>0,91</u> 1,5	<u>0,88</u> 1,51	<u>0,85</u> 1,53
40	<u>0,95</u> 0,91	<u>0,95</u> 0,89	<u>0,93</u> 1,06	<u>0,91</u> 1,23	<u>0,91</u> 1,23	<u>0,88</u> 1,35	<u>0,85</u> 1,35	<u>0,82</u> 1,37
20	<u>0,88</u> 0,73	<u>0,89</u> 0,75	<u>0,88</u> 0,75	<u>0,85</u> 0,96	<u>0,86</u> 0,98	<u>0,84</u> 1,08	<u>0,81</u> 1,1	<u>0,78</u> 1,09
10	<u>0,84</u> 0,64	<u>0,84</u> 0,63	<u>0,83</u> 0,7	<u>0,82</u> 0,77	<u>0,82</u> 0,78	<u>0,81</u> 0,87	<u>0,77</u> 0,9	<u>0,74</u> 0,92
5	<u>0,80</u> 0,56	<u>0,81</u> 0,57	<u>0,79</u> 0,6	<u>0,78</u> 0,67	<u>0,78</u> 0,67	<u>0,76</u> 0,75	<u>0,76</u> 0,77	<u>0,71</u> 0,79
<b>Друга група порід-колекторів (IV-V клас за А. А. Ханіним)</b>								
62	1	<u>0,96</u> 1,02	<u>0,85</u> 1,29	<u>0,75</u> 1,64	<u>0,73</u> 1,72	<u>0,71</u> 1,88	<u>0,70</u> 1,88	<u>0,69</u> 1,94
40	<u>0,92</u> 1,00	<u>0,87</u> 1,00	<u>0,78</u> 1,27	<u>0,69</u> 1,6	<u>0,67</u> 1,67	<u>0,65</u> 1,83	<u>0,65</u> 1,82	<u>0,64</u> 1,76
20	<u>0,81</u> 0,88	<u>0,78</u> 0,88	<u>0,70</u> 1,05	<u>0,62</u> 1,24	<u>0,60</u> 1,34	<u>0,58</u> 1,48	<u>0,58</u> 1,47	<u>0,57</u> 1,48
10	<u>0,74</u> 0,78	<u>0,71</u> 0,79	<u>0,65</u> 0,91	<u>0,57</u> 1,09	<u>0,55</u> 1,14	<u>0,52</u> 1,28	<u>0,53</u> 1,26	<u>0,53</u> 1,27
5	<u>0,67</u> 0,72	<u>0,66</u> 0,71	<u>0,59</u> 0,83	<u>0,54</u> 0,97	<u>0,52</u> 1,03	<u>0,49</u> 1,17	<u>0,49</u> 1,16	<u>0,49</u> 1,15

**Примітки:**

**1. Чисельник** - відношення значення параметра  $P$  при текучих умовах до значення параметра  $P$  при пластових умовах ( $t = 110^\circ\text{C}$ ;  $P_{\text{ЕФ}} = 62 \text{ МПа}$ ).

**2. Знаменник** - відношення значення параметра  $P_H$  при текучих умовах до значення параметра  $P_H$  при пластових умовах ( $t = 110^\circ\text{C}$ ;  $P_{\text{ЕФ}} = 62 \text{ МПа}$ ).

литологических особенностей / О. А. Черников, А. Н. Куренков // Изучение коллекторов нефти и газа, залегающих на больших глубинах // Тр. МИНХ и ГП. – М.: Недра, 1977. – Вып. 124. – С. 83-86.

4 Эйдман И. Э. Видовой метод статистических оценок петрофизических свойств нефтегазоносных коллекторов / И. Э. Эйдман // Петрофизика коллекторов нефти и газа / Тр. МИНХ и ГП. – М.: Недра, 1975. – Вып. 115. – С. 238-244.

5 А. с. 1298367 СССР, МКл Е 21 В 49/00 (СССР) Устройство для исследования нефтегазоводонасыщенных кернов / А. А. Гаранин. – № 3929206/22-03; заявл. 04.06.85; опубл. 23.03.87. Бюл. № 11.

6 Губанов Ю. С. Комплексные исследования петрофизических свойств коллекторов с целью повышения эффективности геологоразведочных работ: автореф. дис. на соискание степени канд. геол.-минерал. наук: спец. 04.00.17 "Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений" / Ю. С. Губанов. – Ивано-Франковск, 1982. – 17 с.

7 Индутный В. Ф. Закономерности изменения петрофизических свойств девонских образований Днепровско-Донецкого рифта на больших глубинах / В. Ф. Индутный - Киев: Наукова Думка, 1980. - 160 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*11.11.14*

*Рекомендована до друку*

*професором Мисевським Б.Й.*

*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*

*канд. геол.-мінерал. наук Штурмаком І.Т.*

*(геологічний відділ НДПІ ПАТ «Укрнафта»,*

*м. Івано-Франківськ)*